

Bernard
Remaud

bernard.remaud@univ-nantes.fr
https://www.un-peu-de-physique.fr

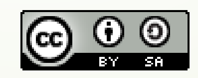


La chaîne YouTube


Le blog

Conférence pour l'UP

Machecoul – 15 mars 2024



Les ondes … une actualité brûlante


SCIENCES

Chirurgie à distance, voiture autonome, usine du futur... Les promesses de la "révolution" 5G

Paris-Match


SUD OUEST JEUX : Amusez-vous gratuitement avec les grilles de jeux Sud Ouest. JOUER

Les maires des zones blanches contre-attaquent

Lecture 2 min

A La Une • L'isle-Bouzon

Par claire burckel
Publié le 17/05/2013

S'ABONNER

PREMIUM
Sur Web, Tablette et Mobile
Le journal et ses suppléments
L'accès aux articles abonnés
L'Édition du soir
Le club Abonnés
Les Formats Longs

Le téléphone portable est entré dans la vie de chacun, manquant cruellement quand il ne fonctionne pas. Ce qui arrive encore dans certaines zones du Gers.



© Sarayut Thaneerat / Dreamstime.com)


LIBERTÉS | POLITIQUE | FORÊTS | COVID-19 | ALTERNATIVES | TOUTE

Accueil > Enquête >

Avec la 5G, nous sommes tous des rats de laboratoire

22 février 2019 / Louise Delamotte (Reporterre) — Durée de lecture : 10 minutes

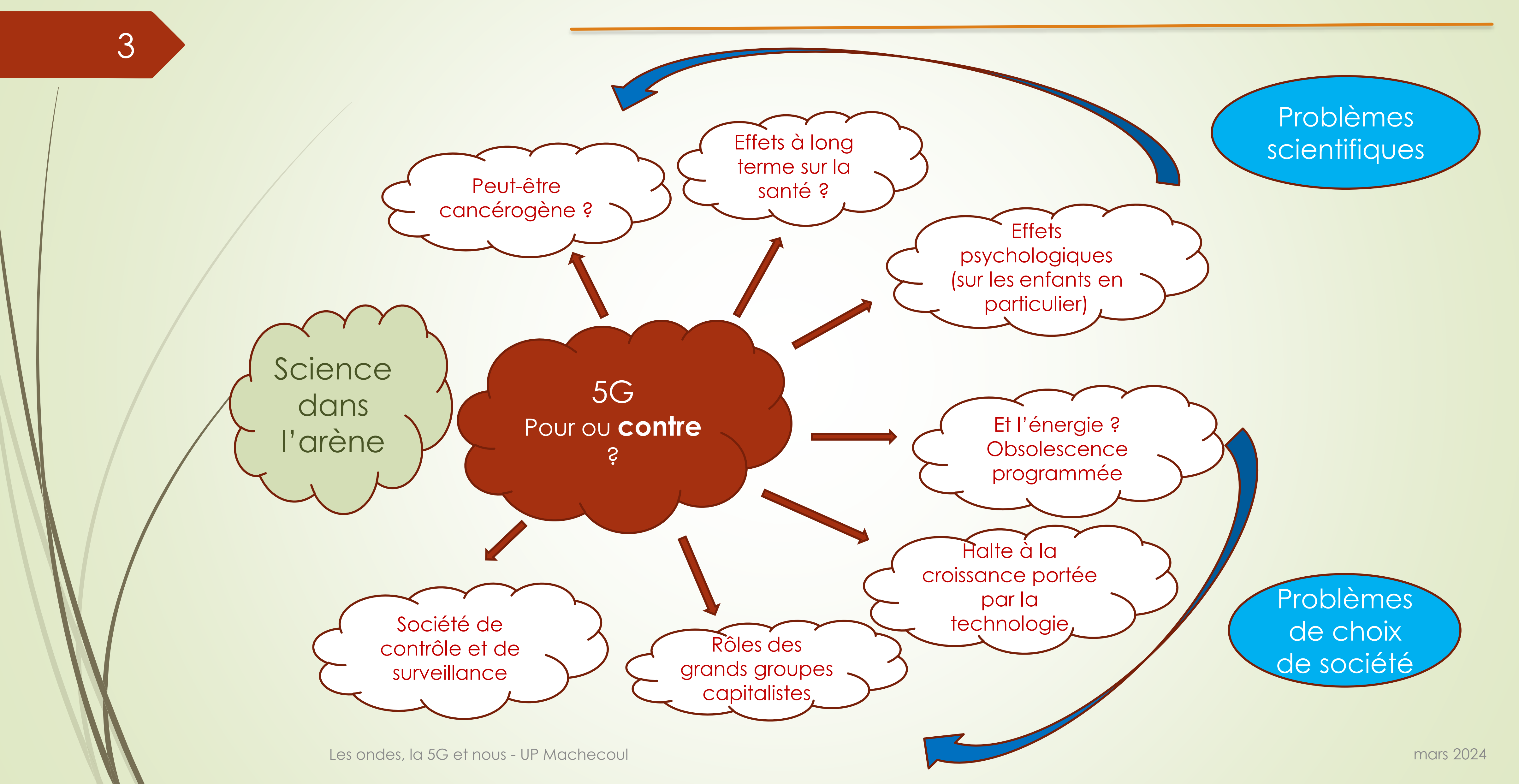
La France s'apprête à déployer la 5G, qui repose en partie sur l'utilisation d'ondes à très haute fréquence. Aucune étude épidémiologique n'ayant été faite, scientifiques, médecins, et jusqu'aux services de l'État s'alarment.



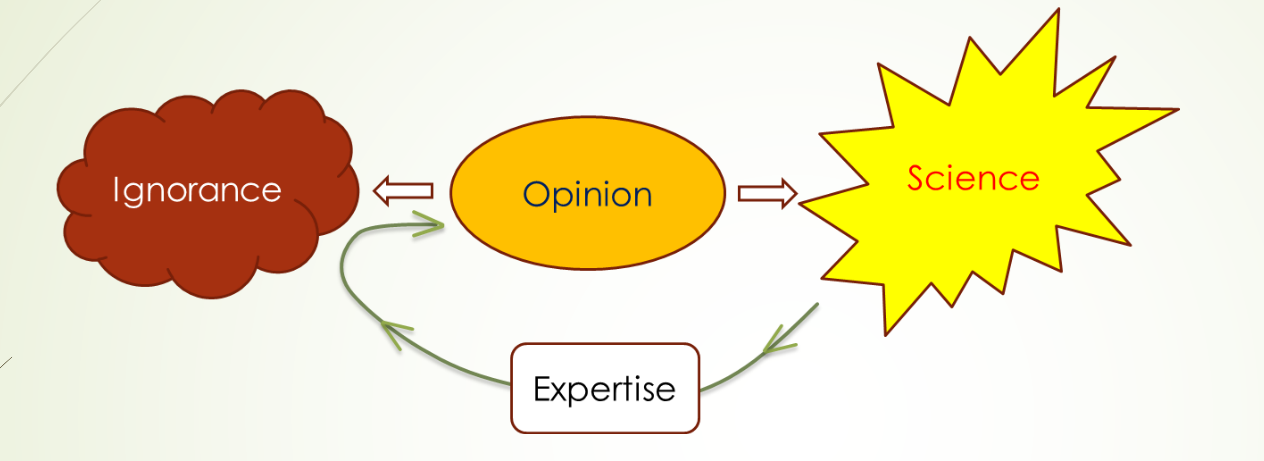
Le monde de la 5G : la démocratie en péril



5G : La Science dans l'arène ?



Se faire une opinion



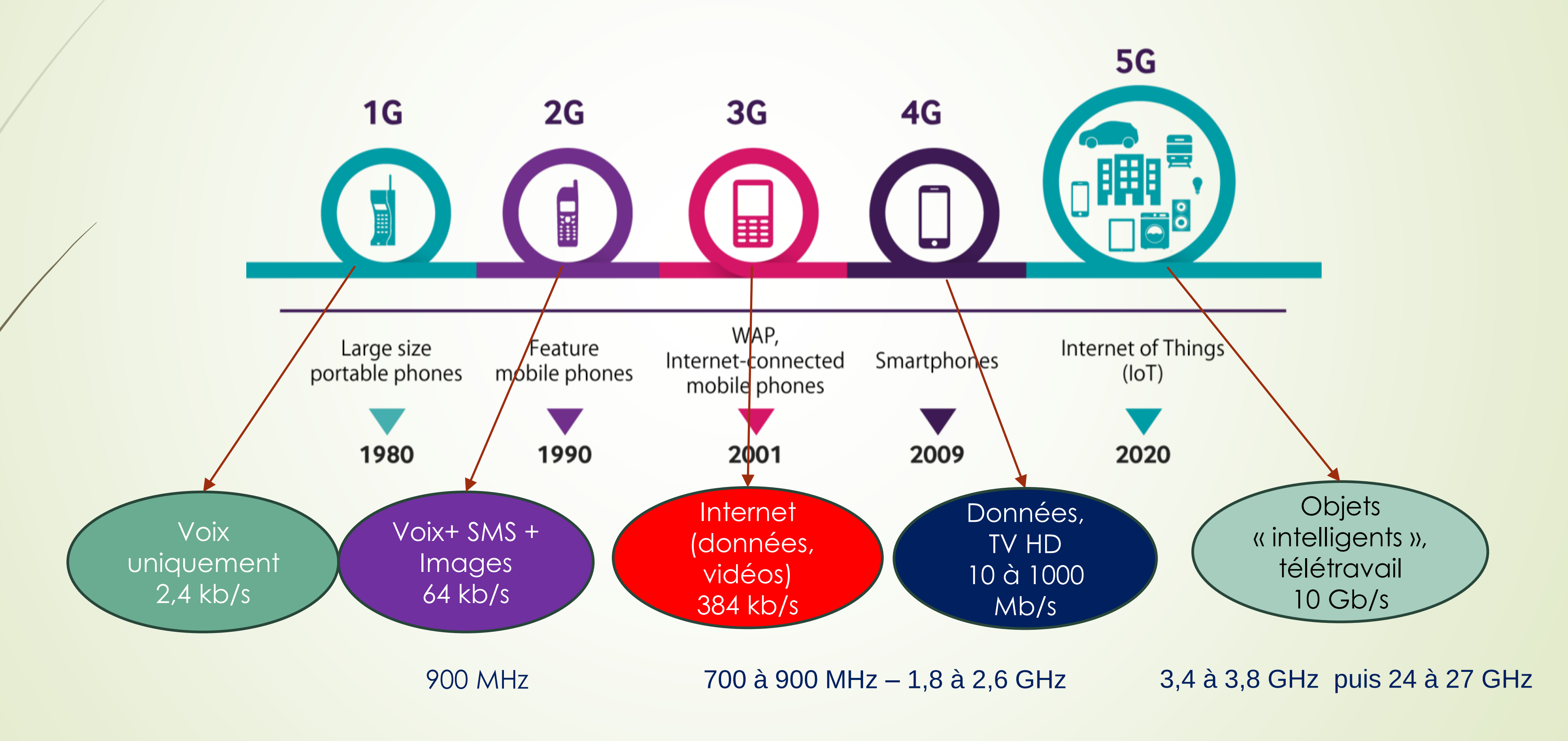
L'opinion est quelque chose d'intermédiaire entre la connaissance et l'ignorance (Platon)

« La science elle-même est plus robuste que jamais dans ses démonstrations, prédictions et applications, mais on peut en effet parler d'une crise de dévalorisation du savoir et de l'expertise ».
Mathias Girel - Journal du CNRS

L'expert scientifique : l'« idiot utile » pour conforter ses opinions (croyances) ?

Avant 1980, téléphonie filaire: voix , puis voix + données (ADSL – 1990)

Puis : téléphonie mobile (cellulaire)



La téléphonie 5G utilise un créneau étroit des ondes électromagnétiques

Les ondes sont les fondements de notre Univers et de notre société :
- pour transmettre à distance énergie et information
- Pour détecter et analyser notre environnement

- Une onde familière – le son

- Caractériser les ondes (et les champs)
- Comment les ondes interagissent avec la matière (vivante)
- Les ondes dans notre environnement
- Les effets de la téléphonie mobile (y compris la 5G)

Ondes gravitationnelles (2014)

Ondes sonores

Ondes radio
- Radio FM
- Ordinateurs
- Téléphones mobiles



Lumière et invisibles (UV, infra-rouge)
Soleil ou imitations
Leds

Ondes radio
Univers à 2,3°K

Rayons gamma (quelques)
Radioactivité des corps humains (Potassium)

Ondes Infra-rouges
Corps et mobilier en équilibre thermique à 20° C (300° K)

Sources naturelles/ artificielles ?

Les 2 grands types d’ondes

Les ondes qui se propagent dans un milieu (air, eau, solide…)

Ce sont les ondes sonores (dans les fluides) et plus généralement les ondes mécaniques



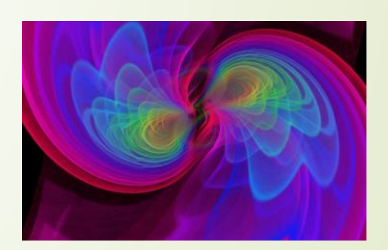


Les ondes qui peuvent se propager dans le vide (sans support):

Ce sont les ondes de champ



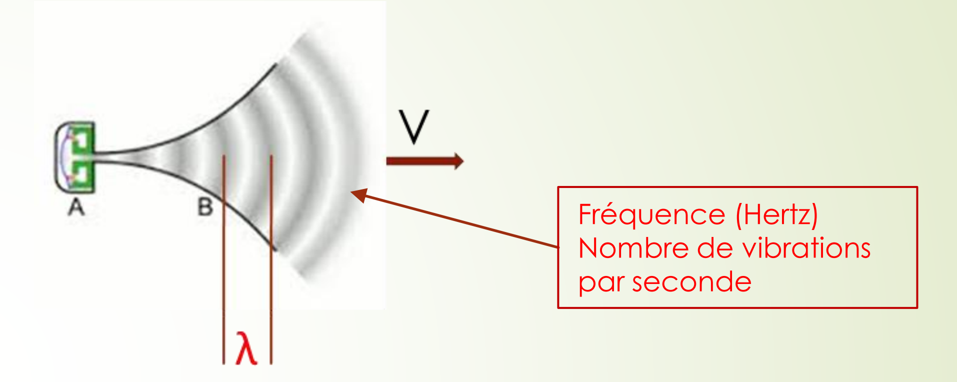




Une onde familière – Le son

Une onde emblématique – le son

L'exemple du son dans l'air



Fréquence (Hertz)
Nombre de vibrations par seconde

- *une perturbation d'un milieu (de l'eau par exemple) ou d'un champ (un champ électrique par exemple)*
- *qui se propage de proche en proche (effet domino)*
- *sans transport global de matière (uniquement transfert d'énergie)*

Les paramètres des ondes sonores

- La vitesse de propagation V de la perturbation (pas la vitesse des particules), se mesure en m/s, km/s.
- La période T : inverse de la fréquence, se mesure en seconde, microseconde
- La fréquence F ou (ν) : nombre d'oscillations par seconde, se mesure en Hz, kHz, MHz (du nom de Hertz)


64 Hz


2 048 Hz

- La longueur d'onde (λ) : distance entre 2 crêtes, se mesure en mètres (km, mètre, nanomètre)





λ = 5,3 m ⟷ λ = 0,2 m



$$\lambda = V / F$$

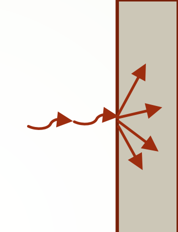
Longueur d'onde = vitesse de l'onde/fréquence

Vie et mort des ondes sonores

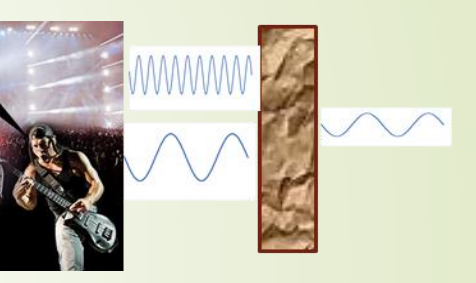
Les ondes transportent à distance de l'énergie et de l'information.

Toutes les fréquences sont absorbées :
les ondes sont transformées en chaleur

Désordonnée







Pour certaines fréquences, les ondes peuvent être transformées en une autre forme d'énergie (mécanique)

Ordonnée (résonante)



Les ondes électro-magnétiques (ondes de champ)

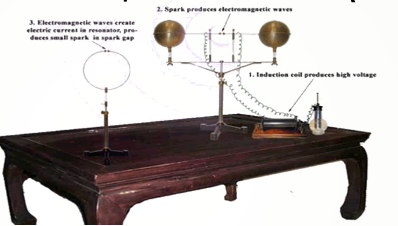
Les ondes de champ électromagnétique



Les ondes électromagnétiques : une découverte progressive



- La lumière est une onde: le prisme (Newton 1650)
- L'électromagnétisme (Maxwell 1860)
- Les ondes radio détectées par Hertz (1870-80)



Dont la téléphonie mobile (années 1980)



- Les rayons X (1895, Roentgen)

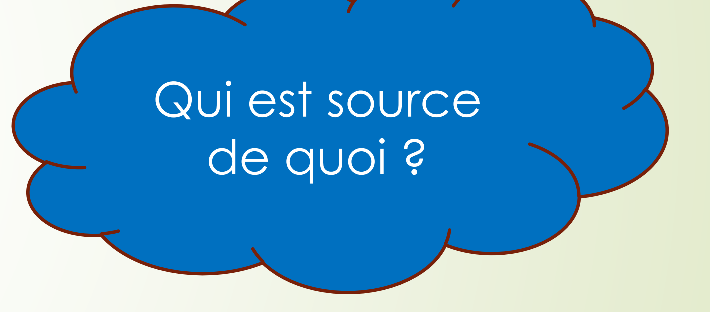
Les ondes électromagnétiques :

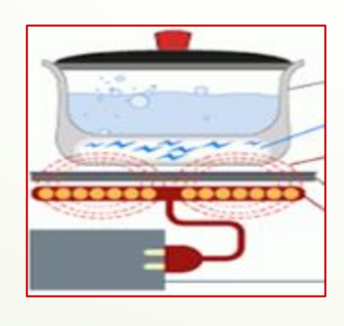
- Se propagent dans le vide à la vitesse de 299 792 458 m/s
- Vitesse plus faible et absorption dans les milieux.

Ondes ou champs ?





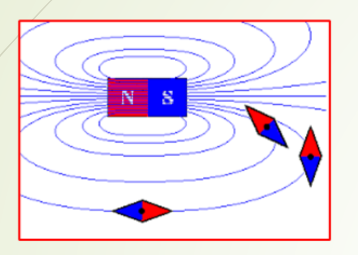




Les champs et leurs effets

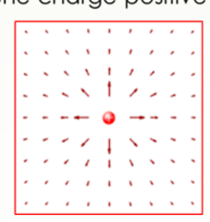
Les champs électrique et magnétique

Un aimant crée un champ magnétique

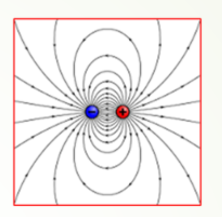


Une charge électrique crée un champ électrique (modifie les propriétés de l'espace)

Une charge positive



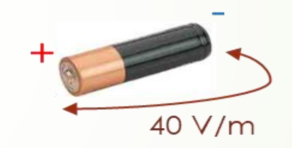
Deux charges: positive et négative



Un champ est une propriété de l'espace autour d'une source électrique ou magnétique

Comment les mesure-t-on :

- Champ électrique en volts par mètre (V/m)



Appli « Compteur électromagnétique »
Sur Smartphone

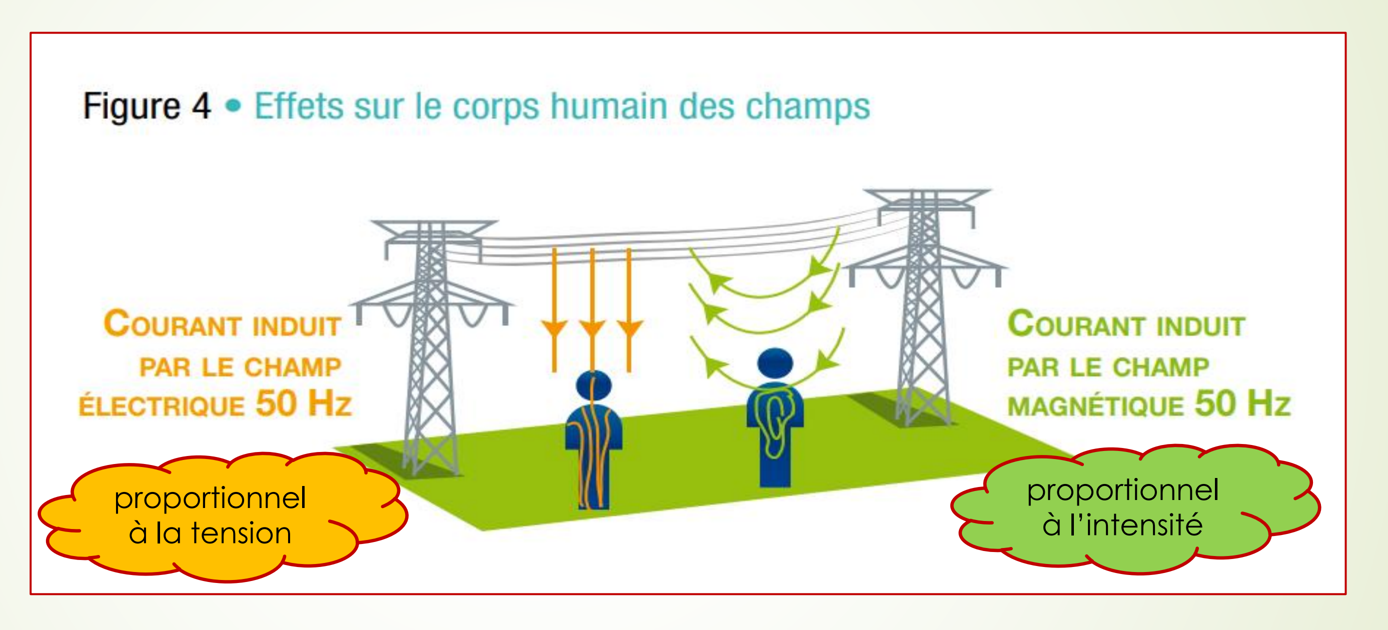
- Champ magnétique en Teslas (µT en généra



L'intensité des champs décroit très vite en fonction de la distance
$1/d^2$ ou $1/d^3$

Champs électrique et magnétique et vie quotidienne

La principale source de champs électrique et magnétique est :
le courant alternatif 50 Hz

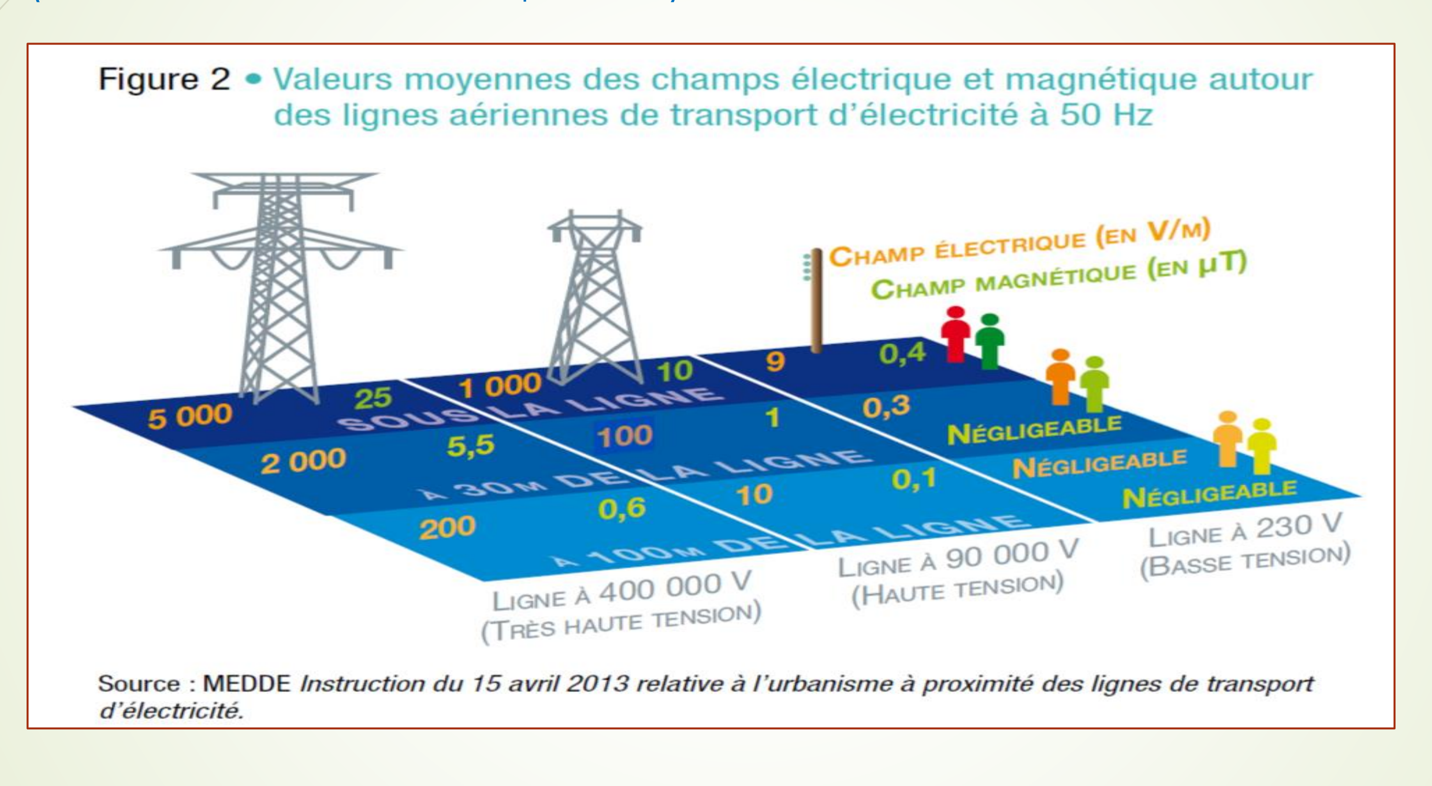


Champs découplés – basses fréquences

Voir : « Champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence : Les effets sur la santé »
Direction générale de la santé (DGS) - 2014

Propriétés des courants de très basse fréquence
(comme le courant électrique 50Hz)





Source : MEDDE *Instruction du 15 avril 2013 relative à l'urbanisme à proximité des lignes de transport d'électricité.*

Limite légale
87 V/m et 6,25 µT
Source ANFR

https://www.anfr.fr

Champ magnétique terrestre
47 µT

Voir : « Champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence : Les effets sur la santé »
Direction générale de la santé (DGS) - 2014

Et les éoliennes ?



COMPOSITION D'UNE ÉOLIENNE

Moyeu + Pale } Rotor
VENT
Générateur
Nacelle
Système d'orientation de la nacelle
Mât
Transformateur
Base/Fondation
Câbles électriques

https://www.mtaterre.fr/

Exemple : puissance de crête 2 MWc

Sortie de l'éolienne

- Tension 700 V
- Intensité 3 000 A (env.)
- Alternatif fréquence variable

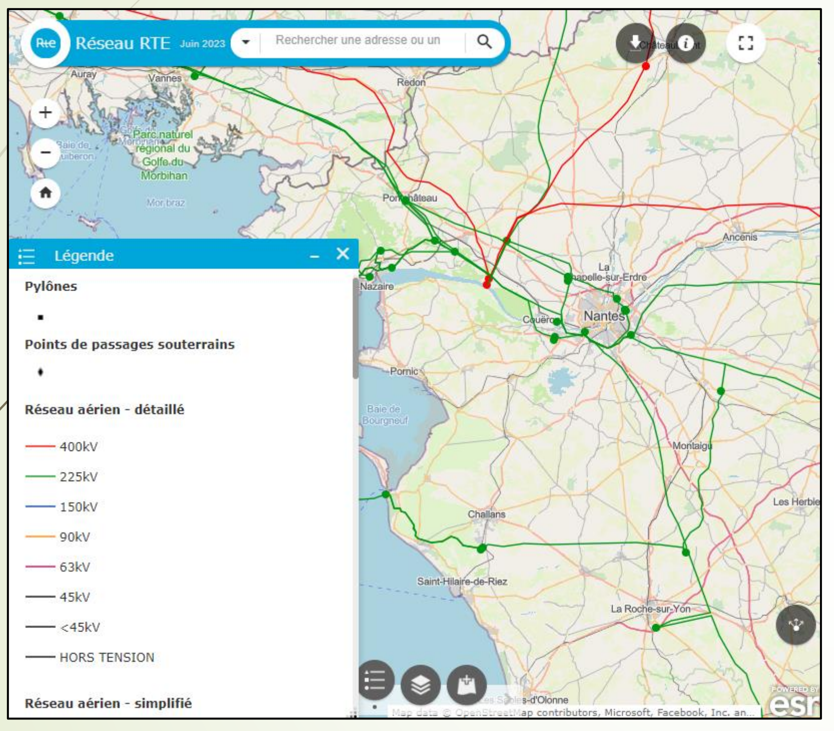
Sortie du transformateur

- Tension 20 000 V
- Intensité 100 A (env.)
- Alternatif 50 Hz

Caractéristiques proches d'une ligne moyenne tension (entre 15 000 et 30 000 volts)

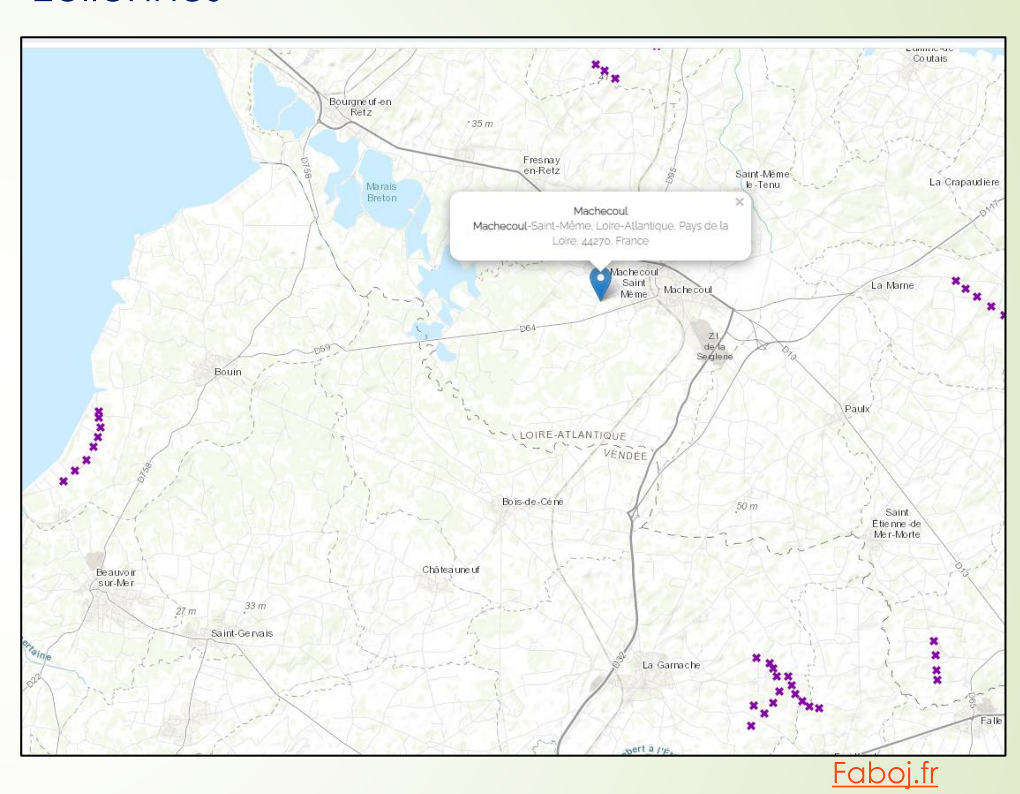
Lignes à haute tension - éoliennes dans la région

Lignes à haute tension



RTE-France

Éoliennes



Faboj.fr

Champs électrique et magnétique et vie quotidienne

Et Linky ?



A 30 cm (hors CPL)
0,25 et 1 V/m
0,01 µT et 0,05 µT

Champ magnétique d'un appareil IRM
3 à 10 Teslas

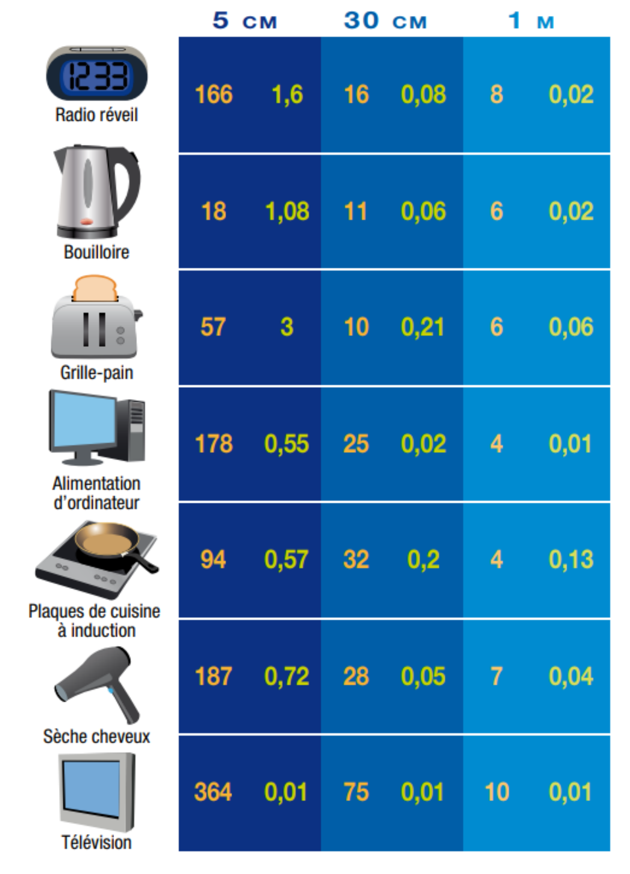


Figure 3 • Valeurs des champs électrique et magnétique à proximité d'appareils électriques à 50 Hz

Appareil	5 cm (Champ électrique, en V/m)	5 cm (Champ magnétique, en µT)	30 cm (Champ électrique, en V/m)	30 cm (Champ magnétique, en µT)	1 m (Champ électrique, en V/m)	1 m (Champ magnétique, en µT)
Radio réveil	166	1,6	16	0,08	8	0,02
Bouilloire	18	1,08	11	0,06	6	0,02
Grille-pain	57	3	10	0,21	6	0,06
Alimentation d'ordinateur	178	0,55	25	0,02	4	0,01
Plaques de cuisine à induction	94	0,57	32	0,2	4	0,13
Sèche cheveux	187	0,72	28	0,05	7	0,04
Télévision	364	0,01	75	0,01	10	0,01

Champ électrique (en V/m)
Champ magnétique (en µT)

Source : Afsset, *Effets sanitaires des champs électromagnétiques extrêmement basses fréquences*, Rapport d'expertise collective, mars 2010, Annexe 6 • Données de mesure Supélec, p. 137 à 163
www.anses.fr/sites/default/files/documents/AP2008et0006Ra.pdf



anses



Limite légale
87 V/m et 6,25 µT
Source ANFR

https://www.anfr.fr

Les 3 niveaux d'effets potentiels sur un organisme vivant

Le cerveau est à l'origine du comportement



https://neurosciencenews.com/

Effets psychologiques sur les individus

Le système nerveux propage des impulsions électriques

Effets physiologiques sur les organismes

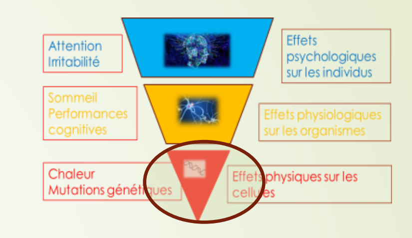
Le corps humain est constitué de molécules (ADN, protéines, ...)



Effets physiques sur les cellules et l'ADN

Effets physiques des champs électriques ou magnétiques

Effets physiques ?



Limite légale
Champ électrique 87 V/m
et Champ magnétique 6,25 µT
Source ANFR

https://www.anfr.fr

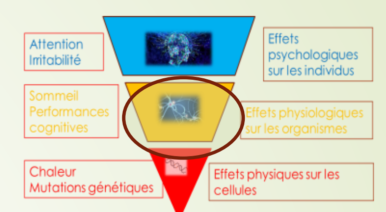
« Aux niveaux d'exposition rencontrés en population générale à la fréquence du réseau électrique, aucun effet sanitaire n'est actuellement considéré comme causalement établi ». (rapport Anses)



Effets physiologiques des champs électriques ou magnétiques

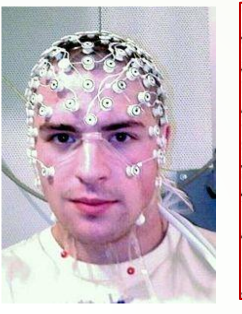
Effets physiologiques ?

Le cerveau est une machine électrique complexe, qui « câble » le corps humain
Le système nerveux propage des **signaux électriques (lents et lentement variables**











Électro encéphalogramme (source Wikipédia)



Dyslexie : la stimulation cérébrale réduit les déficits

Par Elena Sender le 22.09.2020 à 10h05 ABONNÉS

Une étude de l'université de Genève démontre que la stimulation cérébrale améliore la précision de lecture chez les adultes atteints de dyslexie.

Expérience de stimulation transcranienne chez des adultes dyslexiques.
SILVIA MARCHESOTTI / UNIGE

Sciences et Avenir Oct 2020



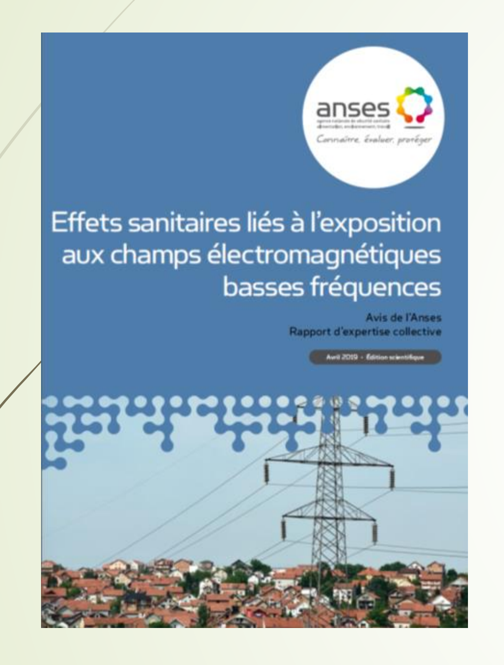
IRM à 3 Teslas



Résilience du cerveau

- « stimulation des tissus excitables » : 50 000 µT
- Examen par IRM : quelques Teslas (1 000 000 µT)

Effets sanitaires - ANSES



<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="5">Éléments de preuve de l'existence de l'effet étudié chez des modèles</td></tr>
<tr><td>Éléments de preuve suffisants pour conclure à l'existence d'un effet</td><td>Éléments de preuve limités pour conclure à l'existence d'un effet</td><td>Éléments de preuve non conclusifs</td><td>Absence de données de qualité</td><td>Les données disponibles ne montrent pas d'effet</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Éléments de preuve de l'existence de l'effet étudié dans les études cliniques et épidémiologiques</td><td>Éléments de preuve suffisants pour conclure à l'existence d'un effet</td><td colspan="5">Effet avéré pour l'Homme</td></tr>
<tr><td>Éléments de preuve limités pour conclure à l'existence d'un effet</td><td>Effet probable pour l'Homme</td><td colspan="4">Effet possible pour l'Homme</td></tr>
<tr><td>Éléments de preuve non conclusifs</td><td rowspan="2">Effet possible pour l'Homme</td><td colspan="4" rowspan="3">Les données disponibles ne permettent pas de conclure à l'existence ou non de l'effet étudié</td></tr>
<tr><td>Absence de données de qualité</td></tr>
<tr><td>Les données disponibles ne montrent pas d'effet</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6"></td><td>Probablement pas d'effet chez l'Homme</td></tr>
</table>

Leucémie infantile

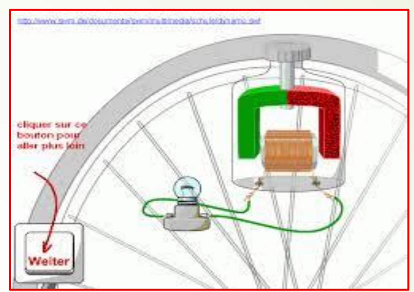
Cancer du sein, tumeurs cérébrales, sclérose en plaques

Les ondes électromagnétiques

Les ondes de champ électro-magnétique (1)

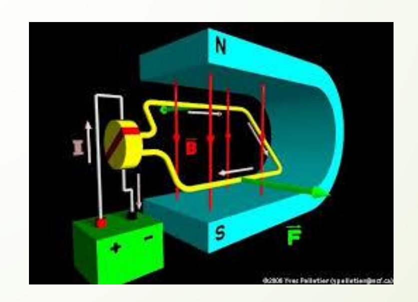
Un aimant (magnétisme) qui bouge dans un circuit crée du courant électrique (la dynamo)





Un courant électrique (mouvement de charges électriques) crée un champ magnétique (moteur électrique)

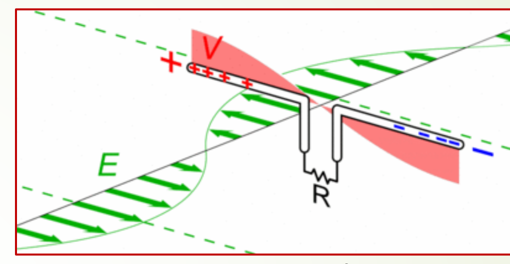




Les ondes de champ électro-magnétique (2)

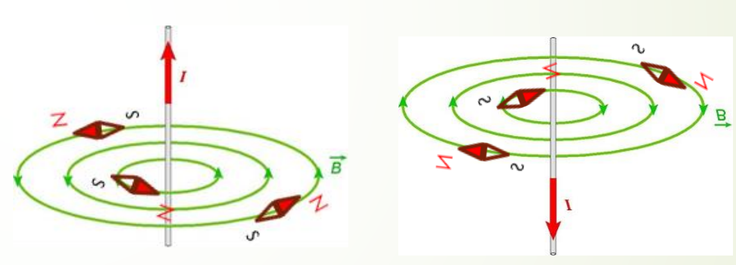
Un courant électrique alternatif dans un fil crée

- Un champ électrique oscillant



Wikipedia – antenne radioélectrique

- Un champ magnétique oscillant



Les 2 champs oscillants peuvent être couplés et créer une onde électro-magnétique qui se propage à la vitesse de la lumière (Maxwell 1850)

Fréquence minimum 100 000 Hertz

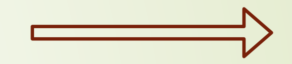
Le spectre des ondes électromagnétiques

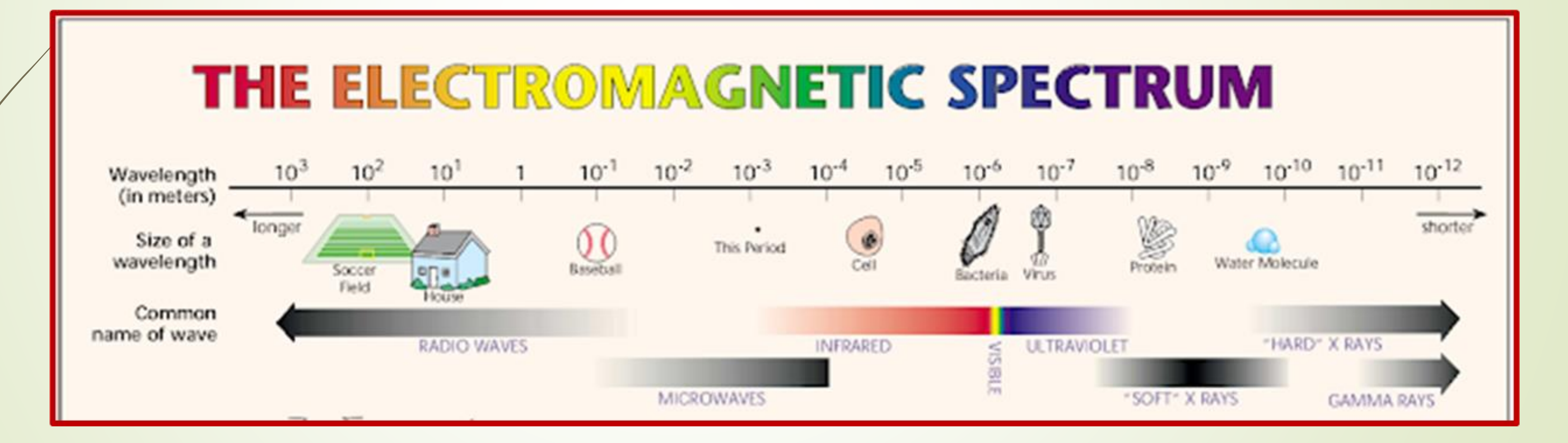
Quelles limites vers les basses et hautes fréquences ?



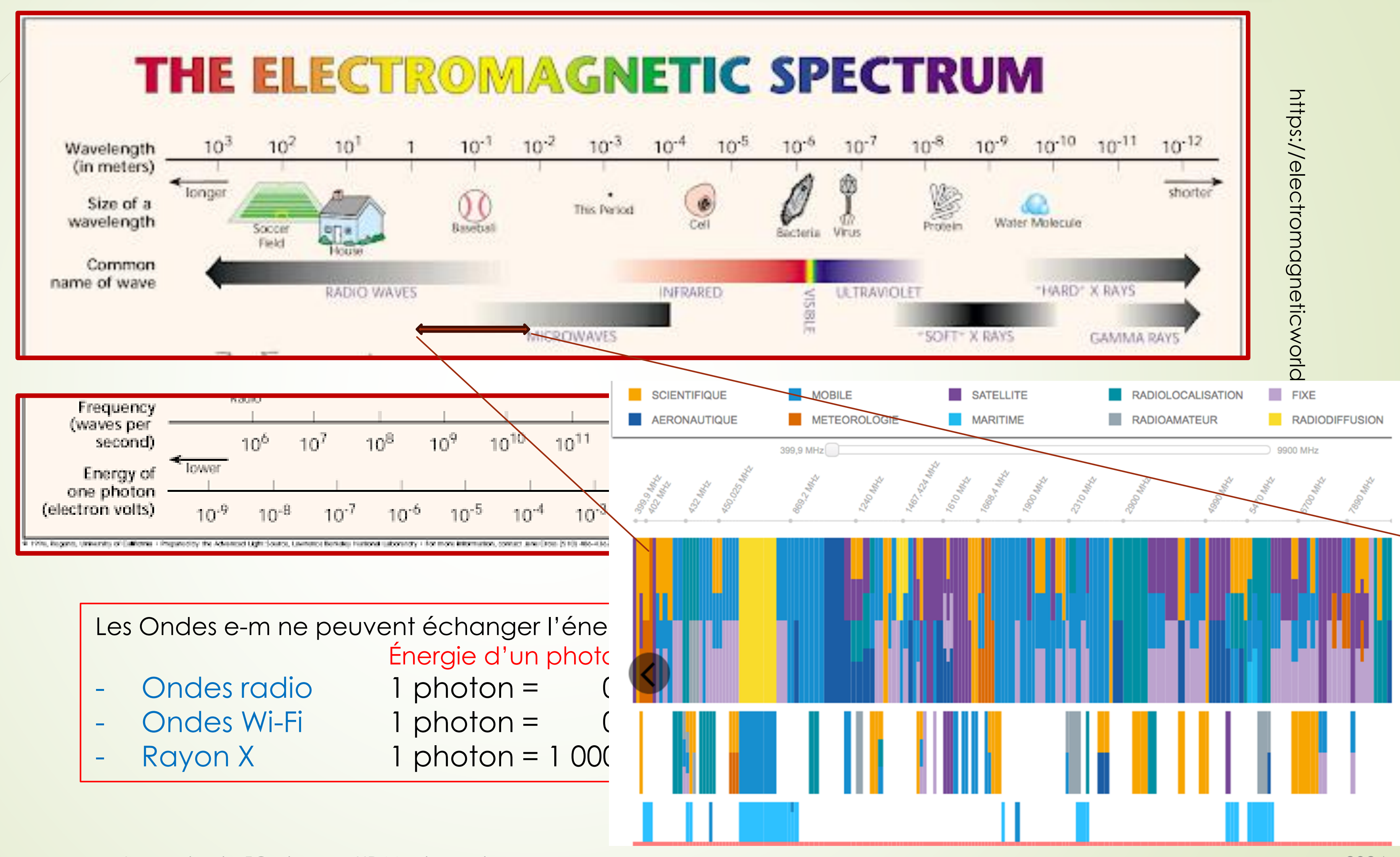
De plus en plus difficile à émettre et à recevoir (voir plus loin : les antennes)

Limite aux hautes fréquences (taille de l'atome, création paire e^- e^+)





Le spectre des ondes électromagnétiques



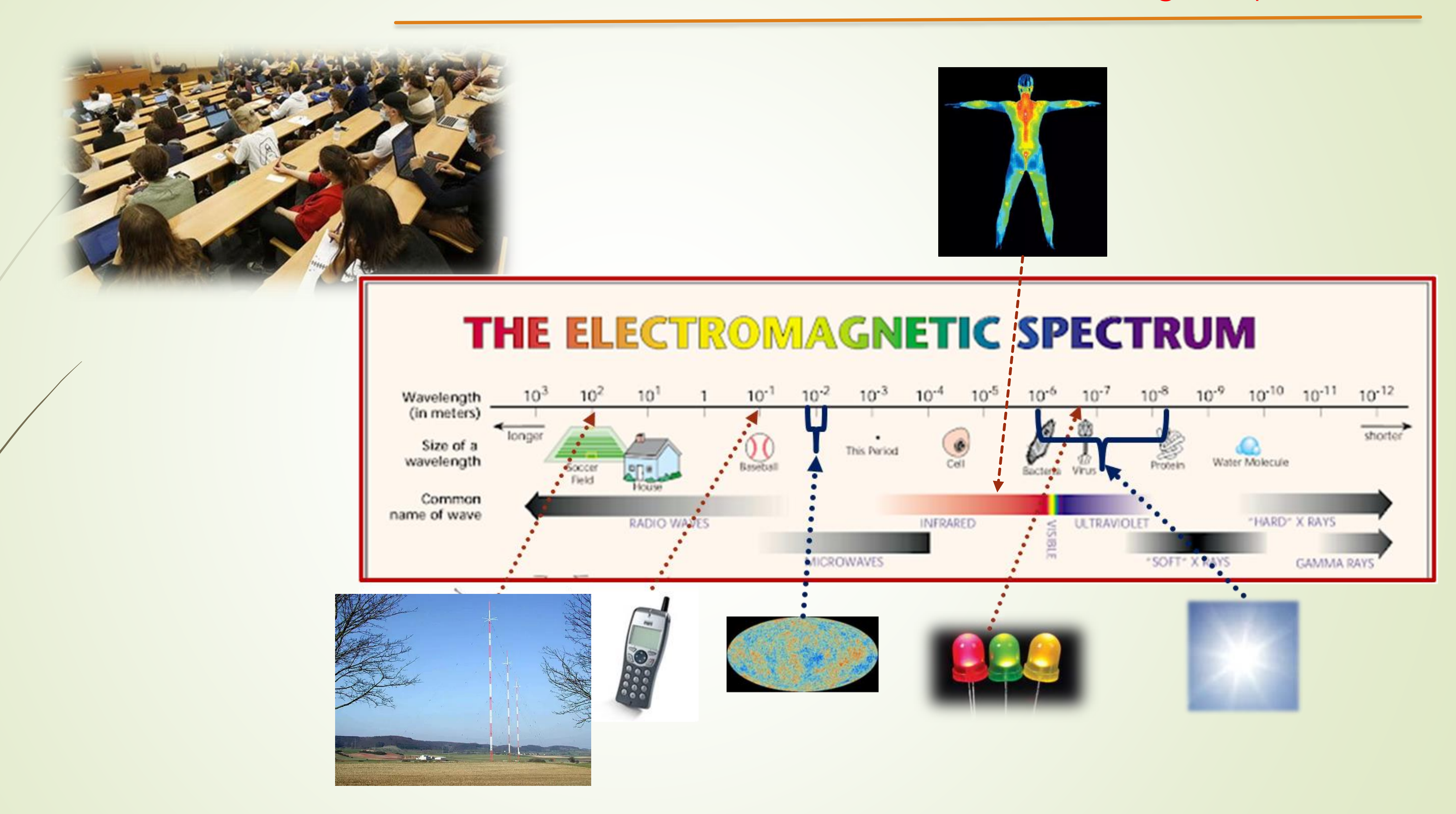
Les Ondes e-m ne peuvent échanger l'éne

Énergie d'un photo

- Ondes radio 1 photon = (
- Ondes Wi-Fi 1 photon = (
- Rayon X 1 photon = 1 000

Vie et mort des ondes électro magnétiques

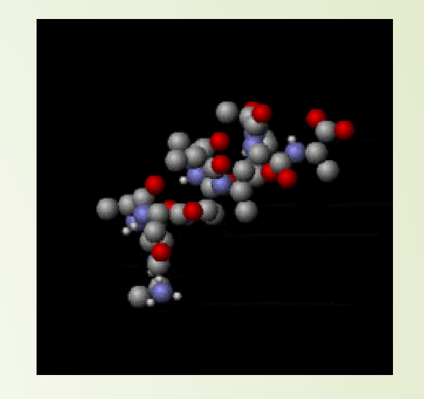
Sources d'ondes électromagnétiques ?

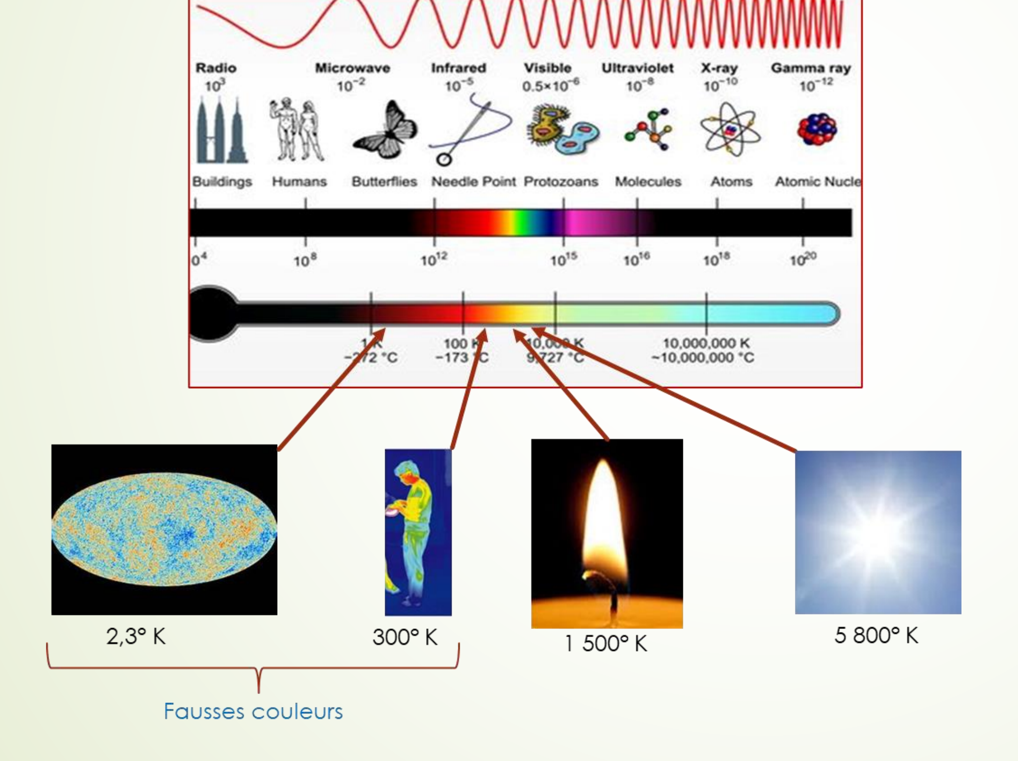


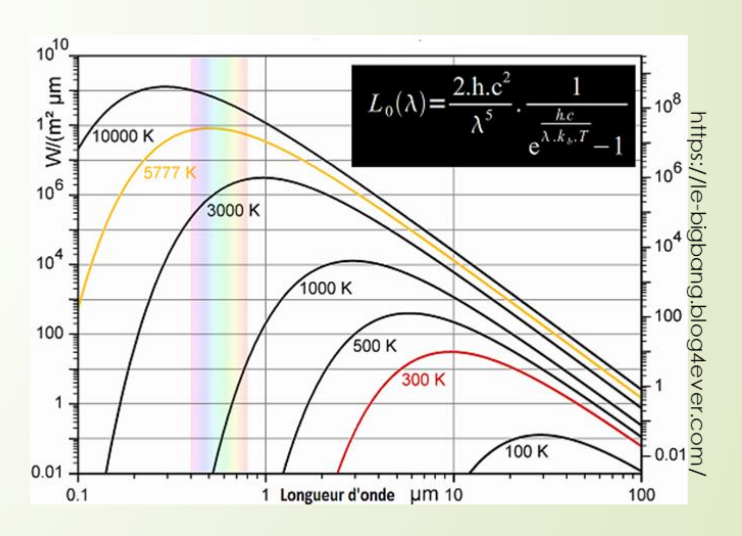
Les émetteurs d'ondes électromagnétiques (1)

1 - Tout corps « chaud » émet des ondes électromagnétiques

Les fréquences émises ne dépendent que de la température en K (Kelvins, degrés Celsius + 273)

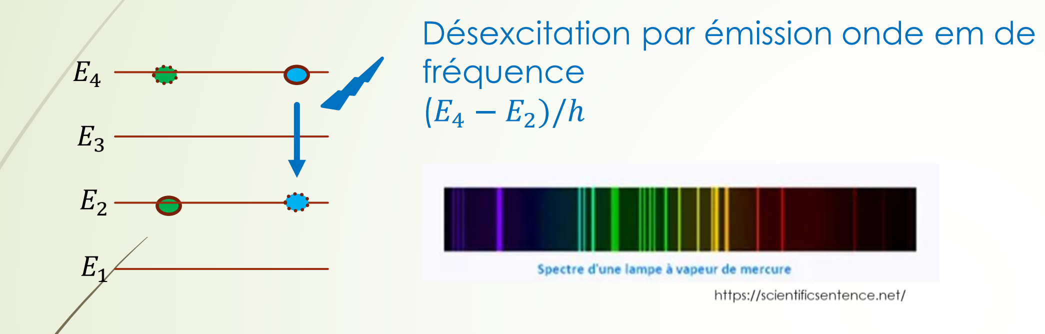






Les émetteurs d'ondes électromagnétiques (2)

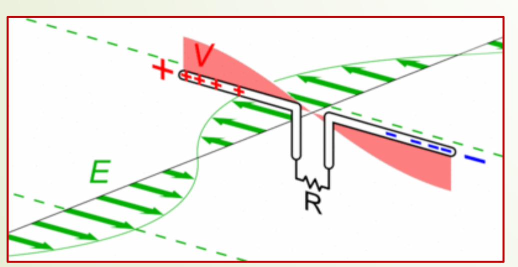
2 – Au niveau atomique (aussi nucléaire) les transitions électroniques




Scanner


Lampe Led

3 – Les courants électriques hautes fréquences (Antennes)



Wikipedia – antenne radioélectrique doublet

Rendement maximum
→ antenne demi-onde

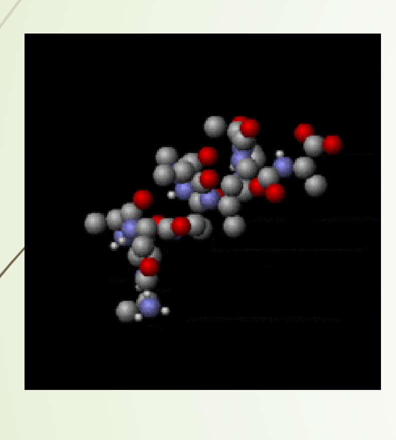
longueur de l'antenne

$$L\ (mètre) = \frac{1,5}{F(MHz)}$$

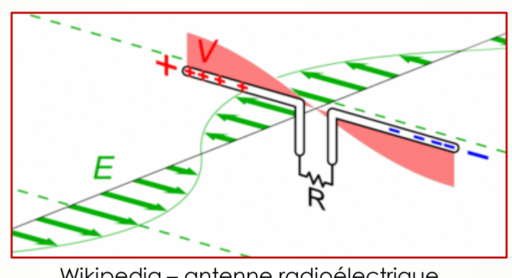

Antenne radio
Grandes ondes


Antenne Smartphone

Absorption = Processus Inverse de l'émission



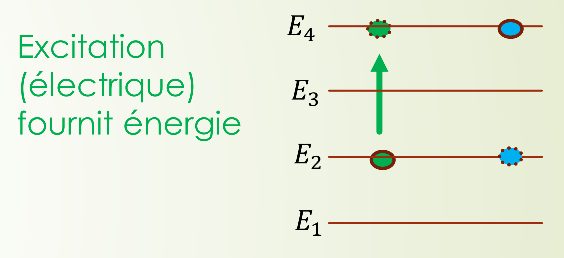
Chaleur



Wikipedia – antenne radioélectrique doublet

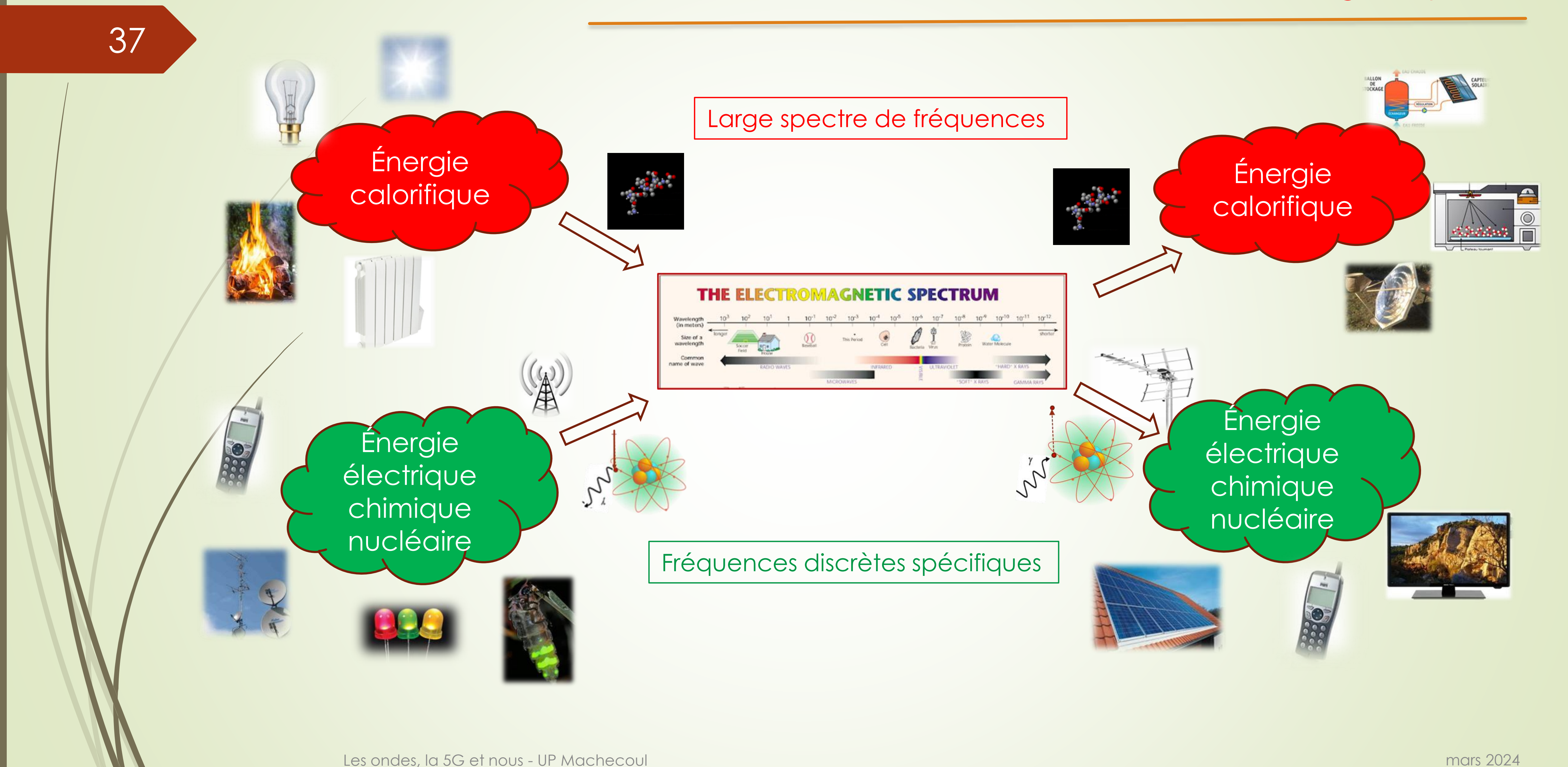
Courant électrique

Excitation (électrique) fournit énergie



Énergie chimique

Vie et mort des ondes électromagnétiques



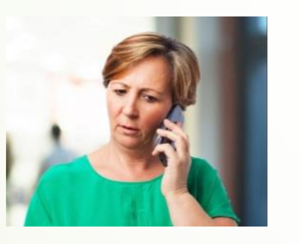
Mesurer l'énergie des ondes électromagnétiques

La majorité de l'énergie des ondes absorbées se transforme en chaleur

Énergie des ondes transformée
en chaleur

Puissance en Watt/m^2 - Pour les rayonnements peu pénétrants
Puissance en Watt/kg - Pour les rayonnements absorbés plus en profondeur

Watt/m^2
ou
Watt/kg ?



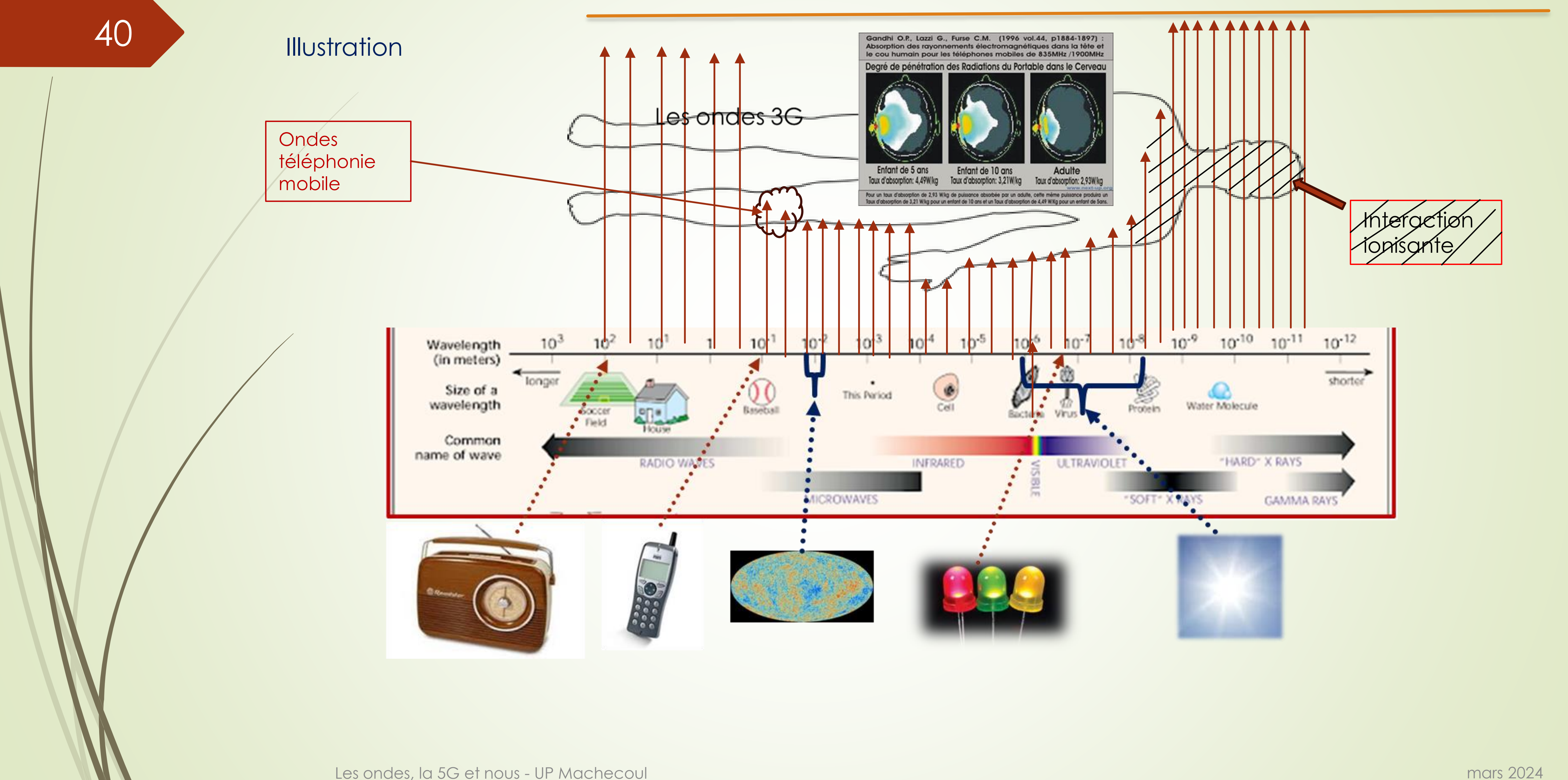


Watt/m^2

Effets des ondes sur la matière (vivante)

Absorption spécifique des ondes par le corps humain

Illustration



Les 3 niveaux d'effets potentiels sur un corps humain

Le cerveau est à l'origine du comportement

Effets psychologiques sur les individus

https://neurosciencenews.com/



Le système nerveux propage des impulsions électriques

Effets physiologiques sur les organismes



Le corps humain est constitué de molécules (ADN, protéines, …)

Effets physiques sur les cellules

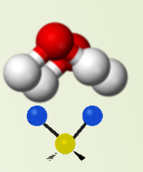
Les effets des ondes

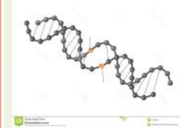
Effets physiques en fonction de l'énergie (fréquence)

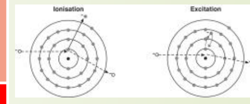
Agitation (sans modifier la structure)		production directe de chaleur
Vibration/rotation (sans modifier les propriétés chimiques)		production indirecte de chaleur
Rupture de liaison		Effets mutagènes carcinogènes
Ionisation-excitation atomique		Mutation/lésion cellulaire
Excitation nucléaire		Mort cellulaire

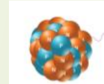
Effets physiques des rayonnements sur la matière vivante

Objet	Taille	Fréquence	Type	Effet
Corps humain	1 m	10^{8} Hz	Ondes radio	Thermiques
Bactérie	1 µm (10^{-6} m)	10^{14} Hz	Lumière visible	
Gène ADN (largeur)	10 nm (10^{-8} m)	10^{16} Hz	UV	Mutagène Dommages aux tissus
Molécule	0,1 –10 nm (10^{-10}-10^{-8} m)	10^{16} Hz -10^{18} Hz	UV-Rayons X	
Atome	1 Ä (10^{-10} m)	10^{18} Hz	Rayons X	
Noyau atomique	1 fermi (10^{-13}m)	10^{23} Hz	Rayons Gamma	Mort cellulaire

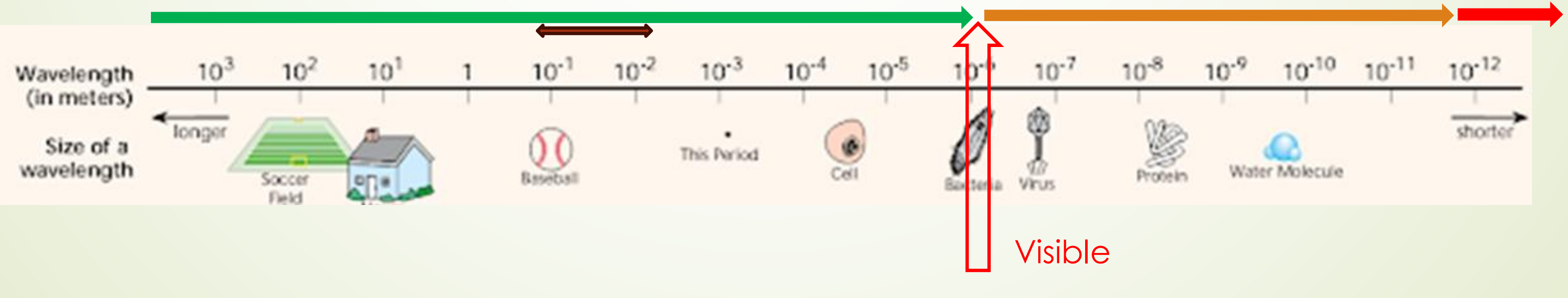




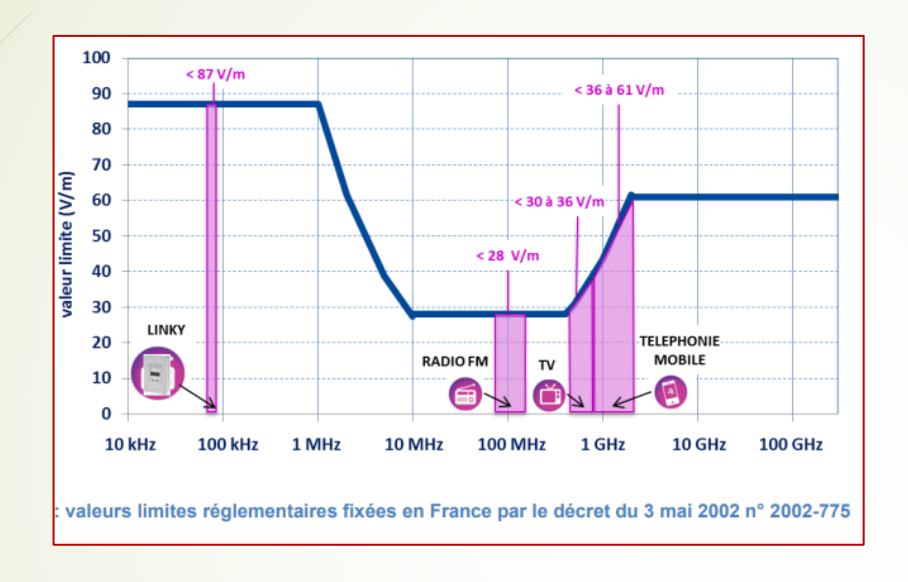




Illustration



Les normes de sécurité pour les champs/ondes EM





La France adopte les normes de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP).

Certains pays sont plus restrictifs pour certaines fréquences



Extrait de:

Etude de l'exposition du public aux ondes radioélectriques – 2022

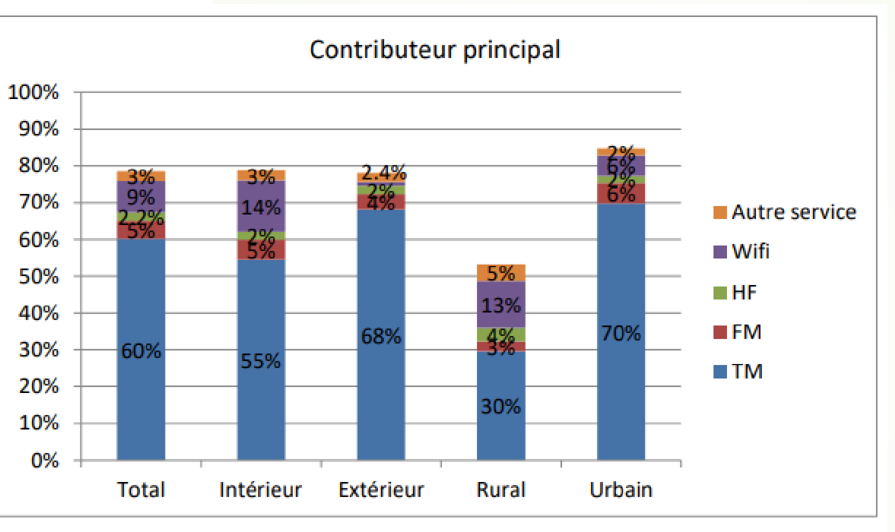


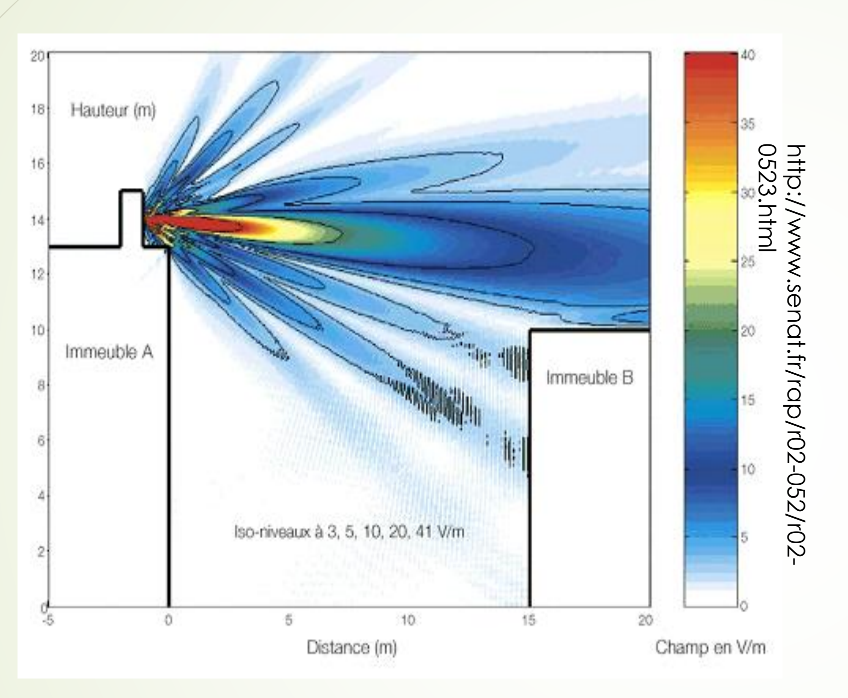
Figure 11 : synthèse des contributeurs principaux selon la typologie des lieux réalisée sur les résultats des 2 116 mesures effectuées en 2022 selon le cas B du protocole

Figure 10 : synthèse des contributeurs principaux selon la typologie des lieux réalisée en 2022

La téléphonie mobile est la source principale des émissions d'ondes e-m dans les radiofréquences

Source la plus importante : antenne ou téléphone

L'antenne



Profil d'émission d'une antenne 4G sur un immeuble

Le téléphone mobile est aussi un émetteur



Loi en $1/d^2$ pour l'affaiblissement avec la distance

De 20 cm à 10 m, un facteur de réduction de

$$\frac{1}{2500}$$

Où sont les émetteurs ?

CartoRadio



Caractériser les ondes émises par les appareils



Énergie des ondes (chaleur)

L'indice DAS (débit d'absorption spécifique) est mesuré en Watts par kilo (W/kg)
Les téléphones mobiles actuels : de 0,2 à 1 W/kg



Source CNET

La norme française

- 2 W/kg max mesurée sur 10g de tissu humain
  Théoriquement : 0,2-2,0 W sur une tête humaine
  Soit : 0,5 – 5 calories pour un appel de 10 minutes
- 0,082 W/kg max, en moyenne sur le corps humain
  Théoriquement: 6,5 W sur le corps humain

NB : Une tête de profil en plein soleil reçoit
1 000 W/m^2 x 0,04 m^2= 40 W dont absorbés (60% → 24 W)

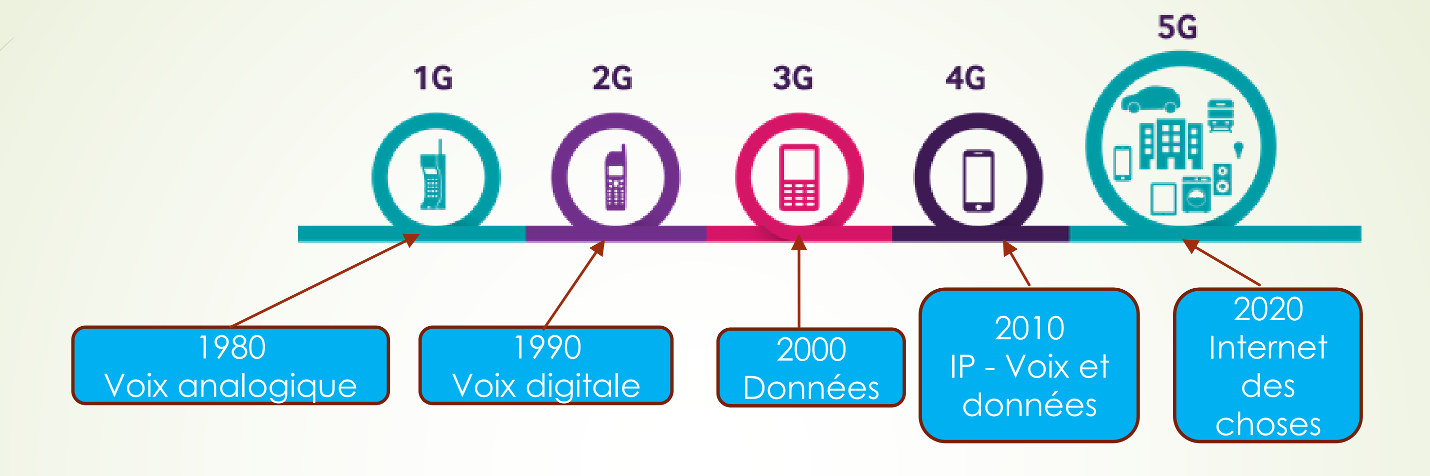
Caractériser les ondes (et les champs)

- Les ondes mécaniques
- Les ondes de champ (de forces)
- Les champs et leurs effets
- Les ondes électromagnétiques
- Les ondes et la matière (vivante)

Et la 5G ?

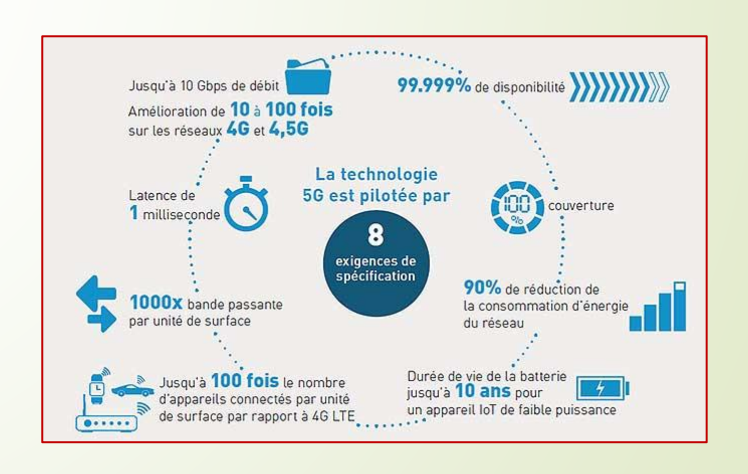
Évolution technologique de la téléphonie mobile



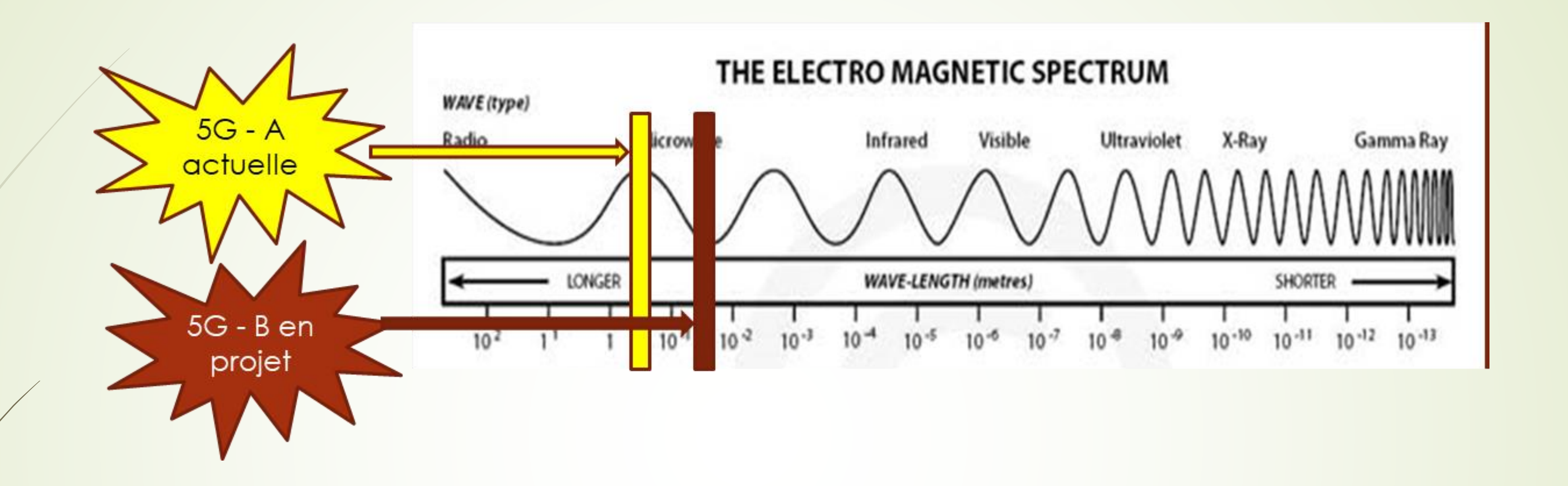


Internet des « choses » - IoT (Internet of Things)

- Temps de latence 1 milliseconde
- Jusqu'à 10^{10} bits par seconde
- Taux de disponibilité (100- ε)%
- Réduction de la consommation d'énergie (90%)
- Grand nombre d'appareils connectés



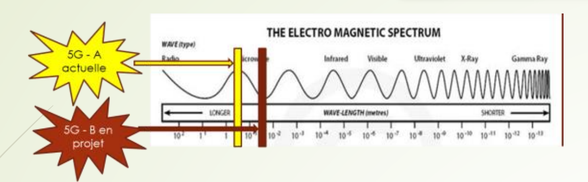
Les ondes de la téléphonie mobile (1)



Les bandes de fréquence concernées (1 à 4 10^9 Hz)

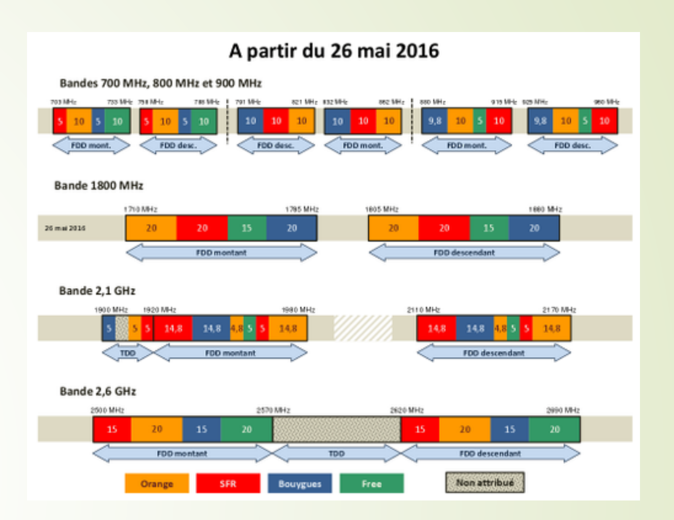
- Téléphonie mobile 4G : 700 MHz à 2 400 MHz
- Téléphonie 5G sur les fréquences de la 4G (en cours)
- Téléphonie 5G-A : sur créneau spécifique 3 400-3 800 MHz (en développement)
- Téléphonie 5G-B : sur créneau spécifique 26 000 MHz (en projet)

Les ondes de la téléphonie mobile (2)



Il y a déjà du monde !

- Alarmes : 0,87 GHz
- Bluetooth : 2,480 – 2,483 GHz
- Wi Fi : autour de 2,400 GHz ou de 5,15 à 5,7 GHz
- Four à micro-ondes : 2 450 MHz
- Scanners d'aéroport, gare, … : 24-30 GHz



Longueurs d'onde

- autour de 0,1m (faible absorption dans l'air ou dans les matériaux de construction)
- autour de 0,01m (plus forte absorption dans l'air, dans les matériaux de construction ou dans la matière vivante)

Que disent les expertises ?

Les expertises sur la téléphonie mobile



"L'évaluation globale de toutes les recherches sur les champs de Electromagnétiques - Radiofréquences émis par les téléphones mobiles conduit à la conclusion que l'exposition en dessous du seuil thermique est peu susceptible d'être associée à des effets néfastes sur la santé." (ICNIRP "Mobile Phones Radiofrequency - RF EMF")





« Les conclusions de l'évaluation des risques publiées en 2013 ne mettent pas en évidence d'effets sanitaires avérés. Certaines publications évoquent néanmoins une possible augmentation du risque de tumeur cérébrale, sur le long terme, pour les utilisateurs intensifs de téléphones portables(…).
Des effets biologiques, correspondant à des changements généralement réversibles dans le fonctionnement interne de l'organisme, peuvent ainsi être observés, comme dans le cas d'expositions aux différents *stimuli* de la vie quotidienne.
Néanmoins, les experts de l'Agence n'ont pu établir un lien de causalité entre les effets biologiques décrits sur des modèles cellulaires, animaux ou chez l'Homme et d'éventuels effets sanitaires qui en résulteraient » (ANSES 2020)

« L'analyse et la synthèse de milliers d'études n'ont pas mis en évidence de relation directe entre l'exposition à ces ondes et la santé » (février 2023)





Les risques liés à l'extension de la 5G (ANSES 2021) selon la bande de fréquences

- « 700 MHz-2,1 GHz, mêmes conclusions que pour les 1,2,3,4 G
- 3,5 GHz : des risques sanitaires nouveaux peu probables
- 26 GHz : des données insuffisantes pour conclure à l'existence ou non d'un risque pour la santé »



Voir le site de l'ANSES sur les risques sanitaires de la 5G



No Evidence for increased Brain Tumour Incidence in the Swedish National Cancer Register Between Years 1980-2012
AntiCancer research 2019 Feb;39(2):791-796. doi: 10.21873/anticanres.13176.

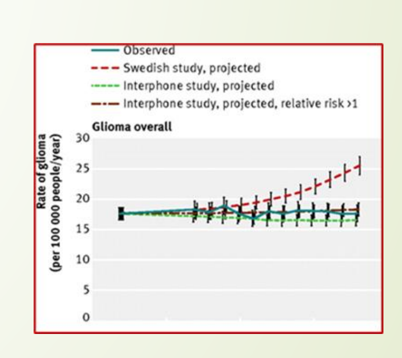
Incidences of gliomas and meningiomas in Denmark, 1943 to 1997
The incidence of gliomas increased 1.7-fold from 1943 to 1947 to 1993 to 1997
Neurosurgery . 2003 Jun; 52(6):1327-33. doi: 10.1227/01.neu.0000064802.46759.53.



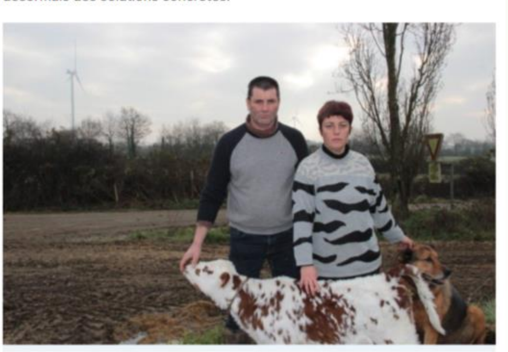
Increasing incidence of glioblastoma multiforme and meningioma, and decreasing incidence of Schwannoma (2000–2008): Findings of a multicenter Australian study
Surg Neurol Int. 2011; 2: 176. doi: 10.4103/2152-7806.90696

Signal faible dans un environnement multifactoriel

Cause de pb de santé ← → caractéristique d'un certain style de vie



Les difficiles enquêtes épidémiologiques (suite)


Éoliennes de Nozay : leur cheptel décimé, des éleveurs se lancent dans un bras de fer avec l'État

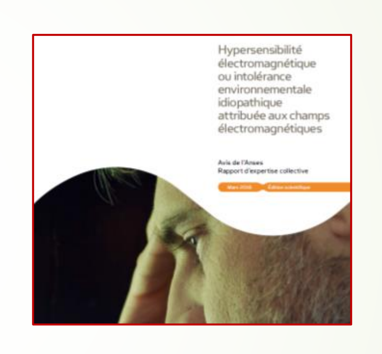
Murielle et Didier Potiron ont perdu 325 vaches depuis l'ouverture du parc éolien des Quatre seigneurs à Nozay (Loire-Atlantique). Ils attendent désormais des solutions concrètes.



Lire en ligne

Électrosensibilité :

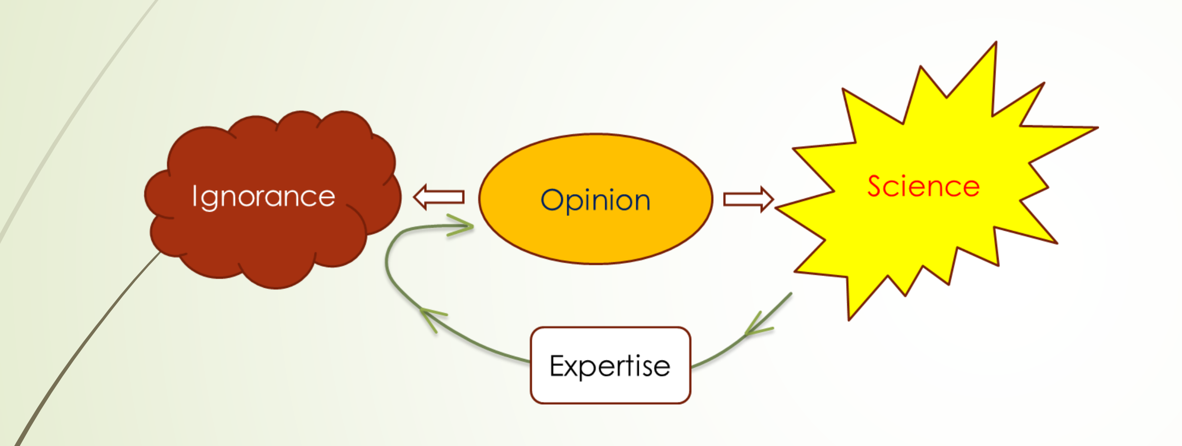
"**Il n'existe pas de critères de diagnostic validés à ce jour**", souligne cet avis", "mais les plaintes formulées par les personnes se déclarant EHS correspondent à une réalité vécue"





L'Anses a jugé que () l'effet (Nocébo) joue "**certainement un rôle non négligeable dans la persistance de l'EHS**", mais a ajouté qu'il n'excluait pas "une affection organique non identifiée

Les experts en débat



« Les experts font partie du « système » qui nous ment et nous manipule »

Le doute : arme absolue et « talon d'Achille »



Un site associatif et militant
http://www.electroprevention.com/

Ces ondes qui tuent !
Les ondes électromagnétiques artificielles qui nous envahissent de manière exponentielle sont des ondes de mort, des ondes morbides…

Que pèse l'avis scientifique vis-à-vis de l'opinion ?

Un site officiel s'appuyant sur des panels de spécialistes
https://www.anses.fr/fr
Extrait d'un rapport de 350 pages



Radiofréquences et santé

Mise à jour de l'expertise

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Octobre 2013 Édition scientifique

On ne peut pas exclure le fait que dans certaines conditions (notamment avec des expositions à des signaux modulés), les radiofréquences :

- puissent favoriser l'oxydation de l'ADN (…). Néanmoins, ces dernières sont souvent de faible ampleur (proche du bruit de fond naturel
- cependant, aucun effet pérenne des radiofréquences sur la perte d'intégrité de l'ADN n'a été mis en évidence à un faible niveau d'exposition
- aucun effet mutagène ou co-mutagène des radiofréquences n'a été observé ;
- aucune donnée ne semble indiquer que l'exposition aux radiofréquences induise de problème de ségrégation des chromosomes lors de la mitose

Principe de précaution … ou de prudence

« *Aucune étude n'a prouvé que l'exposition aux champs électromagnétiques ne présente pas de risques* »

Mais c'est méconnaître le principe selon lequel la science ne peut pas prouver qu'un effet n'existe pas.

Autrement dit, la méthode scientifique permet de quantifier les effets d'une cause mesurable.



Pour ou contre la 5G ?

Pour		Contre
Plus grande vitesse de transmission 1Go/s → 10 Go/s		Coûts d'investissement
Temps de Latence /10 → réalité virtuelle (construction, médecine, télétravail, etc..)		Processus et applications encore en développement
Connectivité accrue → Objets connectés		Couverture limitée (faible portée des antennes)
Plus efficace en énergie à débit constant		Problèmes de sécurité et de confidentialité
Efficacité des entreprises →coordination des processus industriels		Zone de fréquences encombrées (cf fréquence de résonance de l'eau, contrôle aérien)

Et l'énergie ?

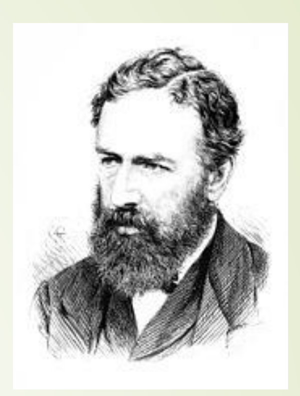
Le secteur télécom représente environ 3 % de l'énergie consommée dans le monde (2020), 5% en 2050 ?



Éléments défavorables	Éléments favorables
Augmentation du trafic	Meilleure efficacité par octet transmis
Multiplication des objets connectés	IoT → objets indépendants très économes
Stations composées d'antennes multiples	Antennes plus sélectives, plus intelligentes (mode veille)
Plus faible portée	Diminution du transport physique de matériel et de personnel

Effet Jevons – Effet rebond

Paradoxe de Jevons
« À mesure que les améliorations technologiques augmentent l'efficacité avec laquelle une ressource est employée, la consommation totale de cette ressource peut augmenter au lieu de diminuer ».

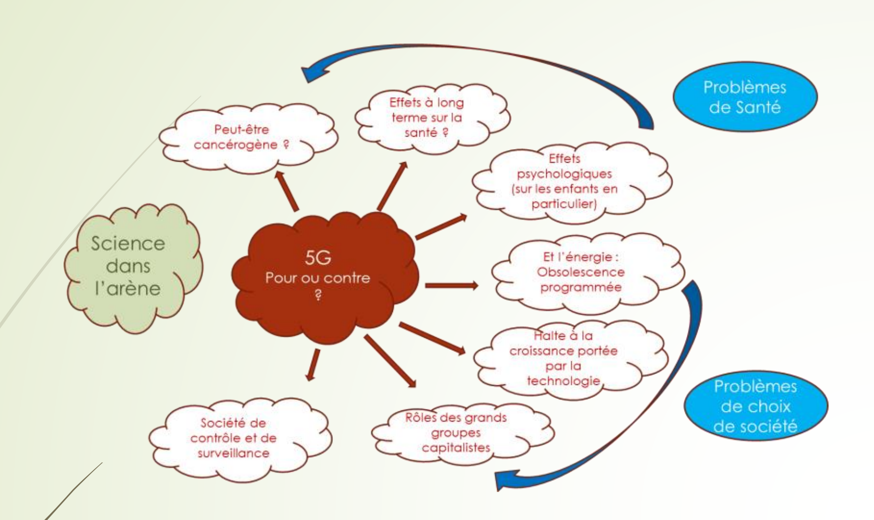


Effet Rebond

Innovation	Effet rebond	Motivation
Amélioration du rendement des moteurs thermiques automobiles	Augmentation du poids et de la masse des véhicules	Innovation utilisée pour améliorer le confort
Moteurs hybrides	Augmentation du kilométrage parcouru	Compensation morale, car la voiture polluerait moins
Financement de l'isolation thermique des bâtiments *	Pas de baisse de la consommation d'énergie	Augmentation de la température des logements
Amélioration de la bande passante et débit de la téléphonie mobile	Augmentation des usages de la téléphonie mobile	Innovation utilisée pour le développement des usages

* *Efficacité des mesures d'isolation des combles et des murs en Angleterre et au Pays de Galles sur la baisse de la consommation de gaz des ménages, avec un constat frappant : quatre ans après les travaux, quasiment toutes les économies d'énergie ont été annulées (wikipédia).*

En guise de conclusion



Pour ou contre la 5G

Surtout un problème de choix de société

« Pas question, après avoir raté le virage des puces électroniques et des Gafa, que l'Europe dépende, en matière de réseaux de téléphonie, d'acteurs étrangers ».
Thierry Breton (Commissaire européen)

« La 5G tue. Non pas à cause des effets des ondes sur la santé humaine. Mais en tant que création artificielle d'un besoin arbitraire aux conséquences dévastatrice ». (Aurélien Barrau)

Quel niveau de la balance avantage ← → risque est acceptable pour l'opinion

La voiture ?
Les OGM ?
Les vaccins anti covid ?
La téléphonie mobile ?

Pour aller plus loin sur les ondes et les relations entre science et société?

Des vidéo conférences sur la chaîne YouTube : la Science de Bernie





Mon blog https://un-peu-de-physique.fr/
Des cours, des ressources…


Des podcasts sur Spotify : La science de Bernie





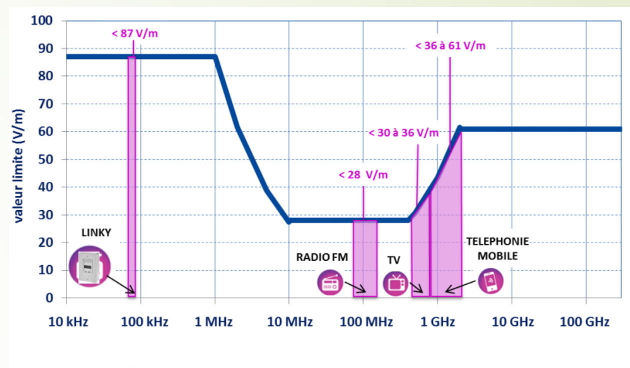
Des cours en ligne ou présentiels à l'Université Permanente de Nantes : https://up.univ-nantes.fr/

Et le CPL, Linky ?



Principe : CPL (Courant porteur en ligne, utiliser le réseau électrique)





Fréquences CPL: bas débit 10-150 kHz (10^5 Hz)
haut débit 3 à 30 MHz(10^7 Hz)
Longueur d'ondes CPL : 30 à 3 000 mètres

Fréquences Linky: 20-500 kHz (10^5 Hz)
Fréquence de la Radio
Longueur d'ondes Linky : 3 000 mètres